Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 32, No. 3, Fall 2018, p. 259-268

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۳۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷، ص. ۲۶۸-۲۵۹

# طراحی قراردادهای مشتقه شاخص‌های هواشناسی در بخش کشاورزی ایران (مطالعه موردی: شیراز)

زهرا نعمت‌الهی[۱]- سید علی حسینی یکانی[۲]*- حمید امیرنژاد[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۱۰

## چکیده

طی سال‌های اخیر، ابزاری نوین تحت عنوان بورس شاخص‌های هواشناسی، جهت مقابله با ریسک تولید معرفی شده است که در بورس‌های مطرح دنیا مبادله می‌شود. با این حال، در داخل کشور تاکنون بحث بورس آب و هوا و طراحی و قیمت‌گذاری قراردادهای مبتنی بر شاخص‌های هواشناسی، مطرح نشده است. لذا در پژوهش حاضر، به طراحی و قیمت‌گذاری قراردادهای قابل مبادله در این بورس پرداخته شده است. بدین منظور قراردادهای اختیار معامله دمایی بر پایه شاخص GDD جهت مبادله در بورس انتخاب شده است. جهت بررسی ارتباط عملکرد و دمای دوره رشد از داده‌های تولید دو محصول گندم و برنج و همچنین داده‌های هواشناسی شیراز طی سال‌های ۹۵- ۱۳۶۱ استفاده شده است. در نهایت با استفاده از شبیه‌سازی روزانه فرآیند دمای شیراز، غرامت انتظاری و قیمت قراردادهای اختیار معامله مشخص شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، افزایش GDD، بر عملکرد گندم و برنج، تأثیر مثبت و معناداری داشته است و استفاده از قراردادهای اختیار معامله دمایی در بازه‌های زمانی در نظر گرفته شده، غرامت مثبتی را به همراه داشته است. لذا پیشنهاد می‌شود، از مشخصات تعیین شده در این پژوهش، جهت راه‌اندازی بورس آب و هوا استفاده شده و پس از راه‌اندازی بورس، بر اساس میزان استقبال فعالان بازار، قراردادهای جدیدتر با سطوح مختلف شاخص توافقی تعیین شوند.

**واژه‌های کلیدی:** اختیار معامله دمایی، ریسک تولید، شاخص GDD، کشاورزی

## مقدمه

سطح زیرکشت و عملکرد محصولات کشاورزی متأثر از عوامل مختلفی است که برخی از آنها قابل کنترل و برخی غیرقابل کنترل می‌باشند. عوامل قابل کنترل را می‌توان به دو دسته عوامل قیمتی و عوامل غیرقیمتی تقسیم نمود. از مجموعه عوامل قیمتی، قیمت محصولات کشاورزی و نهاده‌های مربوط به آن است که نقش بسیار مهمی را در اقدام به کشت و یا گسترش سطح زیرکشت ایفا می‌کنند (۱۰). همچنین، میزان مصرف نهاده‌هایی همچون بذر، کود و سم از جمله عوامل غیرقیمتی قابل کنترل به شمار می‌روند. از سوی دیگر بحث تأثیر عوامل غیرقابل کنترل نیز بر افزایش سطح زیر کشت و حتی اقدام به کشت محصولات کشاورزی مطرح می‌گردد. یکی از مهم‌ترین این عوامل شرایط آب و هوایی و شرایط اقلیمی است (۵).

بیشترین ریسک تولید در بخش کشاورزی کشورهای در حال توسعه، مربوط به شرایط آب و هوایی است و بخش اعظمی از این ریسک آب و هوا، مربوط به نوسانات دما و بارش می‌باشد. در دنیای واقعی کشاورزان از ابزارهای محدودی جهت کاهش این ریسک تولید برخوردار می‌باشند. لذا، در سال‌های اخیر ابزار مالی[۴] جدیدی جهت مدیریت ریسک رویدادهای آب و هوایی معرفی شده است. قراردادهای اختیار معامله آب و هوایی[۵] به عنوان ابزار بالقوه جهت پوشش ریسک، در اواخر دهه ۱۹۹۰ میلادی معرفی شدند و امروزه، ایالات متحده امریکا، انگلستان، سایر بازارهای مالی توسعه‌یافته اروپایی و ژاپن، قراردادهای اختیار معامله آب و هوا را معرفی و در سطح جهانی تجارت می‌کنند (۶، ۹، ۱۴ و ۱۷). قرارداد اختیار معامله[۶] از قراردادهای شناخته شده در بورس‌های دنیاست. در تعریف این قرارداد می‌توان گفت قرارداد اختیار معامله، قراردادی دو طرفه بین

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیاران اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*- نویسنده مسئول: Email: hosseiniyekani@gmail.com)
DOI: 10.22067/jead2.v32i3.74311

4- Financial instruments
5- Weather derivatives
6- Option

خریدار[1] و فروشنده[2] است که بر اساس آن، به خریدار این حق داده می‌شود، بدون هیچ التزام و تعهدی، مقدار معینی از دارایی هم‌پیوند با قرارداد[3] را با قیمت توافقی معین، در یک سررسید معین (اختیار معامله اروپایی[4]) یا در طول زمان رسیدن به سررسید (اختیار معامله آمریکایی[5])، بخرد یا بفروشد. فروشنده نیز در ازای این امتیاز مبلغی را تحت عنوان حق بیمه[6] که در واقع همان قیمت اختیار[7] است، از طرف خریدار دریافت می‌نماید و در مقابل متعهد می‌گردد، در صورتیکه خریدار بخواهد از حق خود مبنی بر خرید یا فروش دارایی مورد نظر استفاده نماید، آن دارایی را به وی بفروشد یا از او بخرد. در عرصه بین‌الملل در مطالعات فراوانی بر کارآیی قراردادهای اختیار معامله آب و هوایی در پوشش ریسک تولید در بخش کشاورزی تأکید شده است. با این حال، تاکنون در ایران هیچ مطالعه‌ای در زمینه معرفی، طراحی و بررسی کارآیی این قراردادها انجام نشده است و تنها به بررسی تأثیر متغیرهای اقلیمی بر عملکرد محصولات کشاورزی اکتفا شده است. در این راستا، در مطالعه نوروزیان و همکاران (۲۴)، تأثیر دما، بارش و سایر نهاده‌های کشاورزی (بذر، کود، سم، ماشین‌آلات) بر عملکرد پنبه مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این مطالعه نشان داد، افزایش دما در طول فصل رشد بر عملکرد پنبه اثر منفی می‌گذارد، به طوری که میزان عملکرد در هکتار به ازای افزایش یک درجه دما، به میزان ۳۸ درصد کاهش می‌یابد. نتایج مطالعه مؤمنی و زیبایی (۲۱)، نشان داده است، دما و بارندگی اثری معنی‌دار و غیریکنواخت بر عملکرد محصولات بر جای می‌گذارند. مطالعه اشک تراب و همکاران (۵)، نشان داده است، بارندگی بر خلاف دما بر عملکرد ذرت اثر معنی‌داری داشته و افزایش بارندگی و به عبارتی افزایش عرضه آب، به افزایش سطح زیر کشت ذرت منجر شده است. عینی نرگسه و همکاران (۱۲)، نشان دادند در آینده دمای کمینه و بیشینه در استان فارس روند افزایشی خواهد داشت. بر این اساس، بیشترین عملکرد در دوره پایه در شهرستان‌های شیراز و فسا و کمترین عملکرد در شهرستان لار مشاهده شده است. علی‌رغم پژوهش‌های داخلی، در پژوهش‌های خارجی به بازار بورس آب و هوا و طراحی قراردادها و قیمت‌گذاری آنها توجه ویژه‌ای شده است. ادنینگ و همکاران (۲۵)، ژو و همکاران (۳۱) و موشوف و همکاران (۲۲) در مطالعات خود جهت قیمت‌گذاری قراردادهای اختیار معامله آب و هوا از دو روش تحلیل برن[8] و شبیه‌سازی روزانه استفاده نموده‌اند. نتایج مطالعات یاد شده، حاکی از برتری مدل‌های قیمت‌گذاری بر پایه شبیه‌سازی روزانه متغیرهای آب و هوایی بوده است. مانفردو و ریچارد (۲۰) در مطالعه خود بیان داشته‌اند که اغلب ارتباط غیرخطی بین متغیرهای آب و هوایی و عملکرد بخش کشاورزی وجود دارد و بنابراین استفاده از قراردادهای اختیار معامله را در این بخش توصیه نموده‌اند. اسپیکا (۳۰) و اسپیکا و هیلیکا (۲۹)، روش تحلیل برن بر پایه خودراه‌اندازی پارامتری را جهت قیمت‌گذاری قراردادهای اختیار معامله در بخش کشاورزی چک به کار برده‌اند. آنان بیان نمودند که با استفاده از ابزار خودراه‌اندازی مناسب، نااطمینانی در مورد بازدهی و قیمت قرارداد اختیار معامله و آماره توزیع احتمال مربوط به درآمد به خوبی قابل برآورد خواهد بود. اندر و ژانگ (۱۳) کارآیی قراردادهای اختیار خرید در پوشش ریسک کشاورزان چینی را مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور قراردادهای اختیار خرید بر پایه میزان دمای مورد نیاز گیاه طی دوره رشد (GDD[9]) تنظیم شده است. نتایج این مطالعه نشان داد، مدل عملکرد- دمای منظور شده از قدرت پیش‌بینی بالایی برخوردار بوده است و استفاده از ابزار فوق کارآیی بالایی در پوشش ریسک کشاورزان داشته است.

با توجه به اینکه خسارت‌های طبیعی و آب و هوایی قابل کنترل نبوده و به سختی قابل پیش‌بینی می‌باشند و همچنین از آنجا که تولید در بخش‌های زیادی نسبت به آب و هوا حساس می‌باشد (۱۶ و ۲۳)، انتظار می‌رود، تقاضای فزاینده‌ای برای قراردادهای اختیار معامله آب وهوایی که می‌تواند ریسک تولید مرتبط به شرایط اقلیمی را کاهش دهد، وجود داشته باشد. لذا در مطالعه حاضر به طراحی و قیمت‌گذاری قراردادهای اختیارمعامله دمایی پرداخته شده است. بدین منظور با استفاده از داده‌های تولید دو محصول برنج و گندم و آمار هواشناسی شیراز، قرارداد دمایی مربوطه طراحی و سپس به قیمت‌گذاری قراردادهای تنظیم شده، بر اساس شبیه‌سازی روزانه فرآیندهای دما پرداخته شده است. انتخاب دو محصول یاد شده به دلیل ویژگی‌های جغرافیایی و زیستی این دو محصول صورت گرفته است. دوره رشد گندم اکثرا در فصول سرد می‌باشد و دوره رشد برنج اغلب فصول گرم سال را در برمی‌گیرد. استان فارس قطب مهم تولید گندم ایران محسوب می‌شود و بر اساس گزارش آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۵، این استان در تولید گندم، رتبه دوم را به خود اختصاص داده است. همچنین، در بین شهرستان‌های استان فارس، شهرستان شیراز، بیشترین سطح زیر کشت و عملکرد گندم را داشته است. برنج در میان محصولات کشاورزی دومین محصول پرمصرف پس از گندم در ایران و جهان است. استان فارس با ۲۲۵۰۳ هکتار، بعد از استان‌های شمالی کشور (مازندران، گیلان و گلستان) مهم‌ترین تولیدکننده این محصول محسوب می‌شود (۱).

1- Buyer
2- Writer
3- Underlying Asset
4- European Options
5- American options
6- Premium
7- Option price
8- Burn analysis
9- Growing degree days

## مواد و روش‌ها

تولید کشاورزی به عنوان سیستمی پیچیده توصیف می‌شود که متأثر از شرایط زیستی محصولات کشاورزی، شرایط آب و هوایی منطقه، تکنولوژی کشاورزی و اقتصاد کشاورزی می‌باشد. بر اساس عوامل اقتصادی و خصوصیات محیطی تولید کشاورزی، تولید واقعی این بخش[1] (Ya)، را می‌توان به سه بخش مجزا تقسیم‌بندی نمود (رابطه ۱): روند زمانی[2] (Yt)، نوسانات عملکردی[3] (Yf) و عملکرد تصادفی[4] (Yr) (۱۳).

$$Y_a = Y_t + Y_f + Y_r \quad (۱)$$

روند زمانی مربوط به تغییرات تولید بخش کشاورزی در اثر پیشرفت تکنولوژی آبیاری، کود، مدیریت زراعی، اصلاح بذر و ... می‌باشد. نوسانات عملکردی، مربوط به تغییرات تولید در بخش کشاورزی ناشی از تغییر شرایط محیطی و آب و هوایی مانند دما، بارش، شدت نور و ... است و نااطمینانی در تولید که در اثر حوادث طبیعی مانند زلزله، خشکسالی، سیل و ... ایجاد می‌شود، به عنوان عملکرد تصادفی در رابطه (۱)، منظور شده است.

در مطالعه حاضر جهت طراحی قراردادهای اختیار معامله بر پایه دما، همانند مطالعه اسکلنگر و رابرت (۲۸) و اندر و ژانگ (۱۳)، فرض می‌شود که دما، تاثیر تجمعی بر عملکرد در طی دوره رشد دارد. از آنجا که پیشرفت تکنولوژی وابسته به زمان می‌باشد، از روابط (۲) و (۳) جهت بررسی تاثیر دما بر عملکرد محصولات مورد بررسی استفاده شده است.

$$y_{it} = \log(Y_{it}^A) \quad (۲)$$

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_1 \int g(h)\emptyset_{it}(h)dh + \beta_2 S_t + u_{it} \quad (۳)$$

در روابط فوق، $Y_{it}^A$ عملکرد واقعی محصول iام در سال t است. $\emptyset_{it}(h)$ تابع توزیع تجمعی دما طی فصل رشد محصول است و $S_t$، نشان‌دهنده روند زمانی یا پیشرفت‌های تکنولوژی می‌باشد (۲۸؛ ۷؛ ۸).

تابع $g(h)$ در رابطه (۳)، تابعی شبه خطی است که مقدار آن برابر با صفر یا اختلاف بین دما و پایه دمایی (c) است. دمای پایه برای گندم برابر با ۴/۴ درجه سانتی‌گراد یا ۴۰ درجه فارنهایت است که بر اساس دمای بحرانی کشاورزی برای گندم انتخاب شده است. زیرا طی مراحل رشد گندم، حداقل ۴/۴ درجه سانتی‌گراد برای رشد طبیعی گندم و تغییر فاز از یک مرحله رشد به مرحله دیگر لازم است. پایه دمایی برای برنج برابر با ۱۰ درجه سانتی‌گراد (۵۰ درجه فارنهایت) می‌باشد (۲۱). بنابراین می‌توان تابع $g(h)$ را به شکل رابطه (۴) برای دو محصول گندم و برنج بازنویسی نمود:

$$g(h)w = \begin{cases} h - 4.4 & \text{اگر } h > 4.4\ C \\ 0 & \text{اگر } h <= 4.4\ C \end{cases} \quad (۴)$$

$$g(h)r = \begin{cases} h - 10 & \text{اگر } h > 10\ C \\ 0 & \text{اگر } h <= 10\ C \end{cases}$$

انتگرال در رابطه (۳)، از طریق جمع تابع $g(h)$ در بازه‌های دمایی یک درجه سانتی‌گراد قابل محاسبه می‌باشد. لذا می‌توان رابطه (۳) را از طریق رابطه (۵) محاسبه نمود:

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_1 \sum g(h)[\emptyset_{it}(h+1) - \emptyset_{it}(h)] + \beta_2 S_t + u_{it} \quad (۵)$$

با توجه به اینکه مناسب‌ترین شاخص هواشناسی در بیشتر قراردادهای اختیار معامله در بخش کشاورزی، شاخص GDD می‌باشد (۱۳ و ۲۸)، تابع $g(h)$ و دمای پایه c (۴/۴ درجه سانتی‌گراد برای گندم و ۱۰ درجه سانتی‌گراد برای برنج)، را می‌توان در فواصل n روزه به شکل رابطه (۶) تعریف نمود:

$$GDD_n = \sum_{i=1}^{n} max\{T_i - c, 0\} \quad (۶)$$

در رابطه (۶)، GDD مجموع گرمای دوره رشد در بازه زمانی n روزه، T دمای روزانه و c دمای پایه می‌باشند. در ارتباط با مشخصات این قراردادها لازم به ذکر است که وقتی مقدار تحقق‌یافته شاخص اندازه‌گیری شده، در جهت نامطلوب از سطح توافقی بیشتر شود، پرداخت بر اساس قرارداد شروع می‌شود. غرامت یک واحد تغییر در شاخص، ارزش پولی یک واحد تغییر در ارزش شاخص است. پرداخت برای هر قرارداد، برابر با غرامت یک واحد تغییر در شاخص ضرب در تفاوت بین سطح توافقی شاخص و میزان واقعی آن در طول دوره‌ی قرارداد است. بنابراین ساختار حاصل از قرارداد اختیار معامله دمایی خطی است و در مورد یک قرارداد اختیار معامله خرید شکل تابعی به صورت رابطه (۷) را خواهد داشت (۱۵):

$$X = a \times \max\ [0, K - GDD] \quad (۷)$$

در رابطه (۷)، a، غرامت یک واحد تغییر در شاخص است که در این مطالعه برابر واحد در نظر گرفته شده است و x تابع غرامت تصادفی است. K، سطح توافقی شاخص[5] است که از پیش تعیین شده و غرامت بر اساس تغییرات شاخص (GDD) از این سطح توافقی (K)، محاسبه می‌شود. در قراردادهای اختیار معامله دمایی، سطح توافقی برابر با میانگین بلندمدت شاخص GDD در نظر گرفته می‌شود. چنانچه GDD واقعی محاسبه شده در مدت زمان قرارداد، از میانگین بلندمدت آن (K)، کمتر باشد، غرامت محاسبه شده مثبت بوده و بدین ترتیب کاهش درآمد کشاورزان، از طریق اعمال این قرارداد، جبران خواهد شد. اگر GDD واقعی از سطح توافقی قید شده

1 Actual Crop Yield
2 Trend Yield
3- Fluctuated yield
4- Random yield

5- Strike

در قرارداد بیشتر باشد، غرامت قرارداد منفی بوده و خریدار اختیار خرید، از اختیار خود استفاده نخواهد کرد و تنها مبلغی برابر با قیمت اختیار را پرداخت می‌کند. در این صورت، قیمت پرداختی بابت خرید اختیار خرید از طریق افزایش عملکرد محصول ناشی از افزایش GDD، جبران می‌شود.

در اکثر مطالعاتی که اخیراً در زمینه ابزارهای مشتقه شاخص‌های هواشناسی انجام شده‌اند، از مدل‌های پویا که به طور مستقیم رفتار آتی متغیرها را شبیه‌سازی می‌نمایند، جهت قیمت‌گذاری قراردادها استفاده شده است. مدل‌های پویا، به دلیل استفاده کامل از داده‌های تاریخی موجود، از دقت بیشتری برخوردار بوده و در نتیجه پیش‌بینی‌های بهتری ارائه خواهند داد (۴). لذا، در مطالعه حاضر از روش شبیه‌سازی روزانه جهت قیمت‌گذاری قرارداد دمایی طراحی شده، استفاده شده است. در این روش به جای استفاده از داده‌های سال‌های گذشته (روش عقب‌گرد)، از داده‌های شبیه‌سازی شده برای دوره زمانی آتی (فرآیند تصادفی) استفاده می‌شود و ارزش اختیار معامله دمایی بر اساس شبیه‌سازی‌های روزانه از فرآیندهای دما، تعیین می‌شود. بنابراین، دما بایستی به‌گونه‌ای شبیه‌سازی شود که شرایط آب و هوایی منطقه مورد نظر را به خوبی منعکس نماید. جهت شبیه‌سازی فرآیندهای دمایی، از الگوی جنبش براونی بازگشت به میانگین[1] با جهش‌های لگاریتمی- نرمال[2] و نوسانات فصلی[3] استفاده شده است.

فرآیند دمای شیراز در شکل ۱ نشان داده شده است. بر اساس نمودار دمایی رسم شده، دما دارای روند فصلی در میانگین و واریانس است، بنابراین مؤلفه فصلی باید به درستی در مدل منظور شود. تخمین صحیح و دقیق سرعت بازگشت به میانگین و انتخاب درست توزیع باقیمانده‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. فرآیند دمای روزانه در کوتاه‌مدت دارای نوسان است اما در بلندمدت روندهای غیرمنظم از میانگین پایدار نبوده و از بین می‌روند. بنابراین از رابطه (۸) می‌توان جهت شبیه‌سازی دما استفاده نمود (۲):

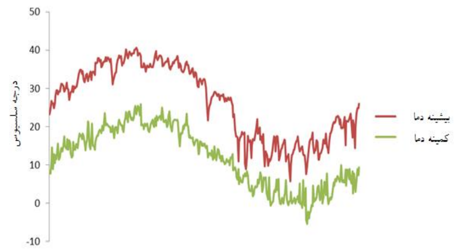
$$dT_t = \kappa(T_t^m - T_t)dt + \sigma dz \qquad (۸)$$

در رابطه (۸)، $\kappa$ نرخ بازگشت به میانگین و $T_t^m$ میانگین آنی دما می‌باشد. اگر نرخ بازگشت به میانگین در فرآیندی برابر با یک باشد، دمای روزانه به سمت میانگین آنی دمای روزانه برگشت پیدا می‌کند. به عبارتی، چنانچه نرخ بازگشت به میانگین برابر با صفر باشد، روند غیرمنظم ایجاد شده در داده‌ها به میانگین بلندمدت خود همگرا نمی‌شود و از فرآیند تصادفی پیروی می‌کند. به منظور محاسبه روند فصلی، روند زمانی و روند خودتوضیحی داده‌ها، میانگین آنی دما را می‌توان به‌صورت رابطه (۹) محاسبه نمود:

1 Mean-Reverting Brownian Motion
2- Log-normal Jumps
3- Seasonal volatility

$$T_t^m(T_t, t) = \gamma_0 + \gamma_1 \sin\alpha_1\left(\frac{2\pi t}{365}\right) + \gamma_2 \cos\alpha_2\left(\frac{2\pi t}{365}\right) + \gamma_3 t + \sum_{j=1}^{p} \rho_j T_{t-j} \qquad (۹)$$

در رابطه (۹)، t بیانگر زمان (روز) است و چون دوره‌های زمانی یک‌ساله هستند، در توابعی سینوسی از $(\frac{2\pi t}{365})$ استفاده شده است. به بیانی دیگر ۳۶۵ روز طول می‌کشد تا یک سیکل کامل ($2\pi$) طی شود. $T_{t-j}$ نشان‌دهنده وقفه‌های دما است که به عبارتی نشان می‌دهد، دمای هر روز به دمای روزهای قبل بستگی دارد. تعداد وقفه‌های بهینه (j) بر اساس معیارهای AIC و SBC انتخاب می‌شوند.



**شکل ۱- فرآیند دمای روزانه شیراز در سال ۱۳۹۶**
**Figure 1- Daily temperature of Shiraz in 2017**

قیمت قرارداد اختیار معامله دمایی از رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود:

$$P(t) = e^{-r(t_n - t)} E^{\mathbb{Q}}[max\{K - GDD, 0\} \parallel \mathcal{F}_t] \qquad (۱۰)$$

در رابطه (۱۰)، $P$ برابر است با قیمت قرارداد اختیار معامله دما، $e$ نمایانگر تابع نمایی، $r$ نرخ بهره بدون ریسک، $t_n$، زمان سررسید قرارداد، t، زمان شروع قرارداد و $E^{\mathbb{Q}}$، میانگین انتظاری غرامت طی دوره زمانی اجرای قرارداد می‌باشد. با توجه به اینکه دما بر اساس فرآیند تصادفی شبیه‌سازی شده است، ترکیب خطی دما (جمع دما طی دوره قرارداد GDD) نیز دارای توزیع نرمال می‌باشد. لذا جهت محاسبه قیمت قرارداد اختیار معامله، میانگین انتظاری و واریانس GDD با استفاده از روابط (۱۱) و (۱۲) محاسبه می‌شود (۲):

$$E^{\mathbb{Q}}[K - GDD \parallel \mathcal{F}_t] = E^{\mathbb{Q}}[K - \sum_{i=1}^{n}(T_{it}) \parallel \mathcal{F}_t] = K - \left[\sum_{i=1}^{n} E^{\mathbb{Q}}(T_{ti} \parallel \mathcal{F}_t)\right] \qquad (۱۱)$$

$$Var[K - GDD \parallel \mathcal{F}_t] = \sum_{i=1}^{n} Var[T_{ti} \parallel \mathcal{F}_t] + 2\sum\sum Cov\left[T_{ti}T_{tj} \parallel \mathcal{F}_t\right] \qquad (۱۲)$$

چنانچه میانگین انتظاری ($E^{\mathbb{Q}}$) محاسبه شده از رابطه (۱۱) را با $\mu_n$ و واریانس ($Var$) به دست آمده از رابطه (۱۲) را با $\sigma_n^2$ نشان دهیم، با جایگذاری آنها در رابطه (۱۰)، قیمت قرارداد اختیار معامله به شکل رابطه (۱۳) به دست می‌آید:

$$P(t) = e^{-r(t_n - t)}\left[(K - \mu_n)\Phi(-\frac{K - \mu_n}{\sigma_n}) - \Phi(-\frac{\mu_n}{\sigma_n})) + \frac{\sigma_n}{\sqrt{2\pi}}(e^{-\frac{(K-\mu_n)^2}{2\sigma_n^2}} - e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\mu_n}{\sigma_n}\right)^2})\right] \qquad (۱۳)$$

در رابطه (۱۳)، $\Phi$ نمایانگر تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد می‌باشد. روابط فوق در صورتی برقرار است که احتمال

$max\{T_i - c, 0\}$=0 اندک باشد (۲ و ۱۳). در مورد گندم، به دلیل اینکه فصل رشد این محصول، فصول سرد سال را شامل می‌شود، شرط فوق برقرار نبوده و از رابطه (۱۳)، نمی‌توان قیمت قرارداد اختیار معامله را به دست آورد. از این رو روش قیمت‌گذاری بر اساس شبیه-سازی مونت کارلو به عنوان روش جایگزین ارائه شده است. در روش شبیه‌سازی مونت کارلو، جهت تعیین قیمت قرارداد اختیار معامله، ارزش قرارداد اختیار، برابر است با میانگین ۱۰۰۰۰ قیمت قرارداد اختیار معامله که از طریق شبیه‌سازی مونت کارلو و بر اساس پارامترهای تخمین زده شده از فرآیندهای تصادفی دمایی(روابط ۸ و ۹) به دست آمده‌اند.

داده‌های مورد نیاز این پژوهش، شامل دو بخش داده‌های مربوط به عملکرد محصولات کشاورزی شیراز و همچنین داده‌های مربوط به دمای روزانه شیراز بوده است. آمار مربوط به عملکرد محصولات کشاورزی طی سال‌های ۹۵- ۱۳۶۱، از سازمان جهاد کشاورزی و همچنین داده‌های هواشناسی روزانه از اداره کل هواشناسی شهرستان شیراز جمع‌آوری شده است. برآورد تابع عملکرد با استفاده از نرم‌افزار Stata 14 و شبیه‌سازی‌های دما با استفاده از Matlab 14 انجام شده است.

## نتایج و بحث

میانگین عملکرد و سطح زیر کشت دو محصول گندم و برنج در شیراز طی سال‌های ۹۵- ۱۳۶۱، در جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس اطلاعات جدول ۱، گندم سطح زیر کشت بیشتری نسبت به برنج طی دوره مورد بررسی به خود اختصاص داده است. همچنین مقایسه عملکردهای دو محصول نشان می‌دهد، برنج طی دوره مورد بررسی، از عملکرد بیشتری برخوردار بوده است.

**جدول ۱- میانگین سطح زیر کشت و عملکرد گندم دیم و برنج در شیراز طی سال‌های ۱۳۶۱-۹۵ (کیلوگرم در هکتار)**

**Table 1- Average of yield and area of rain-fed wheat and Rice in Shiraz in 1982-2016 (Kg/hec)**

| محصول Product/city | گندم Wheat | برنج Rice |
|---|---|---|
| عملکرد Yeild | 756 | 4274.8 |
| سطح زیر کشت Area | 27203.6 | 16758.6 |

منبع: سازمان جهاد کشاورزی Sorce: Agricultural institution

با توجه به ماهیت سری زمانی داده‌ها، لازم است ابتدا ایستایی متغیرها بررسی شود. در مدل‌های سری زمانی در صورت غیرایستا[1] بودن متغیرها، مسئله رگرسیون ساختگی مصداق خواهد داشت و مشاهده $R^2$ بالا ناشی از وجود متغیر زمان به واسطه ارتباط حقیقی بین متغیرها نمی‌باشد (۲۷). بنابراین کاربرد آزمون ریشه واحد جهت تضمین صحت و اعتبار نتایج امری ضروری خواهد بود. نتایج مربوط به بررسی ایستایی متغیرها در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که فرضیه صفر ناایستایی در سطح متغیرها در سطح ۵٪ رد می‌شود. لذا متغیرهای مورد بررسی در سطح پایا می‌باشند و در نتیجه احتمال برآورد رگرسیون ساختگی وجود نخواهد داشت. نتایج مربوط به تخمین‌های مربوطه در جدول ۳ نشان داده شده است.

**جدول ۲- نتایج آزمون ریشه واحد داده**

**Table 2- Results of Unit Root test**

| متغیر Variable | سطح Level | وضعیت Result |
|---|---|---|
| عملکرد گندم Wheat yield | -2.53 (0.005) | I(0) |
| عملکرد برنج Rice yield | -1.99 (0.02) | I(0) |
| دمای دوره رشد گندم Wheat g(h) | -3.99 ((0.000) | I(0) |
| دمای دوره رشد برنج Rice g(h) | -1.86 (0.03) | I(0) |

منبع: یافته‌های تحقیق Source: Research findings

تأثیر دما بر عملکرد گندم و برنج در شیراز، با استفاده از روش داده‌های تلفیقی صورت گرفته است. بر اساس نتایج به دست آمده (جدول ۳)، ضریب مربوط به دمای تجمعی طی دوره رشد در هر دو محصول گندم و برنج مثبت و معنادار بوده است؛ به این معنا که با افزایش دمای تجمعی دوره رشد، عملکرد محصولات مورد بررسی افزایش می‌یابد. علامت متغیر دمای تجمعی در مورد گندم کمتر از برنج به دست آمده است و نشان‌دهنده تأثیر کمتر دما بر این محصول می‌باشد. با توجه به فصل رشد این دو محصول و اینکه گندم عموما در زمستان و برنج در تابستان کشت می‌شود، نتایج به دست آمده دور از انتظار نمی‌باشد. ضریب تعیین به دست آمده نیز حاکی از این است که ۷۶ درصد از تغییرات در عملکرد محصولات گندم و برنج، بوسیله دما دوره رشد توضیح داده شده است. در مطالعه زرعکانی و همکاران (۳۱) نیز رابطه مستقیم بین دمای کمینه و بیشینه و عملکرد گندم دیم در خراسان شمالی مشاهده شده است. تأثیر مثبت دما بر عملکر گندم و برنج در مطالعات مختلفی از جمله اندر و ژانگ (۱۳)، بائوجینگ و همکاران (۸)، موشف و همکاران (۲۲) نیز مشاهده شده است. در مطالعه محمودی و پرهیزکاری (۱۹) دما بر عملکرد گندم تأغعدذثیر منفی داشته است. افزایش یک درجه دما در مطالعه پرهیزکاری و همکاران (۲۶)، عملکرد گندم آبی در دشت شاهرود را ۰/۶۸۳ درصد کاهش داده است. همچنین تاثیر منفی دما بر عملکرد گندم در مطالعه علیخانی و همکاران (۳) نیز نشان داده شده است.

1- None stationery

جدول ۳- نتایج برآورد تأثیر دما بر عملکرد گندم و برنج

Table 3- Regression analysis of the effect of temperature on crop yield of wheat and rice

| Variable متغیر | Coefficientضریب | Std.err انحراف معیار |
|---|---|---|
| Intercept ضریب ثابت | 9.25*** | 1.04 |
| g(h) دمای تجمعی گندم<br>Wheat cumulated weather | 0.18*** | 0.005 |
| g(h) دمای تجمعی برنج<br>Rice cumulated weather | 0.22*** | 0.004 |
| t زمان | 0.011 | 0.015 |
| $R^2= 0.76$ | Durbin-Watson stat = 2.01 | |

*** significant at 1% level ***معنادار در سطح ۱ درصد

Source: Research findings منبع: یافته‌های تحقیق

با توجه به ضرایب تعیین بالای مدل و همچنین تاثیر دمای تجمعی بر عملکرد دو محصول (جدول ۳)، طراحی قراردادهای اختیارمعامله دمایی جهت پوشش ریسک کشاورزان از کارایی بالایی برخوردار خواهد بود. در مطالعات صورت گرفته جهت تعیین مشخصات قراردادهای اختیار معامله در بخش کشاورزی، دوره قرارداد برابر یک سال زراعی در نظر گرفته شده است، در این پژوهش با توجه به دوره متفاوت رشد محصولات و همچنین حساسیت متفاوت محصولات زراعی در دوره‌های مختلف رشد نسبت به دما، مشخصات قراردادهای اختیارمعامله دمایی به تفکیک دوره‌های مختلف رشد گیاهان زراعی، تعیین شده است. بدین منظور سیکل رشد دو محصولِ مورد بررسی و تاریخ‌های گذار از هر مرحله در جدول ۴ نشان داده شده است. لازم به ذکر است، تاریخ‌های ذکر شده با توجه به نظر کارشناسان مؤسسه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شیراز و با در نظر گرفتن سطح اطمینان ۹۵ درصد، تعیین شده است.

جدول ٤- سیکل رشد دو محصول گندم و برنج در شهر شیراز

Table 4- Life cycle for wheat and rice in Shiraz

| محصول /دوره فنولوژی<br>Growth phase / Crop | گندم<br>Wheat | برنج<br>Rice |
|---|---|---|
| سبز شدن/انتقال نشا<br>Emergence/ Returning green | Nov. 11 ۲۰ آبان | June. 5 ۱۵ خرداد |
| Tillering پنجه‌زنی | Nov. 22 ۱ آذر | June. 20 ۳۰ خرداد |
| Stem elongation ساقه‌روی | March.6 ۱۵ اسفند | July. 11 ۲۰ تیر |
| Gravidity آبستنی | April. 4 ۱۵ فروردین | July. 21 ۳۰ تیر |
| Flowering گلدهی | April. 19 ۳۰ فروردین | Aug. 6 ۱۵ مرداد |
| Milky ripe پرشدن دانه | May. 5 ۱۵ اردیبهشت | Aug. 18 ۲۷ مرداد |
| Maturity رسیدن | June. 20 ۳۰ خرداد | Oct. 7 ۱۵ مهر |

Source: Agricultural research club of Shiraz منبع: موسسه تحقیقات کشاورزی شهر شیراز

بر اساس جدول ۴، دوره رشد گندم عموما در فصول سرد و دوره رشد برنج فصول گرم را در بر می‌گیرد. دوره رشد گندم از مرحله سبز شدن تا برداشت، در شیراز ۲۲۲ روز می‌باشد. این در حالی است که کشت برنج در شیراز از اواسط خرداد شروع شده و تا اواسط مهر ادامه دارد و دوره رشد آن در شیراز ۱۲۵ روزه می‌باشد. بنابراین جهت تعیین سطح توافقی شاخص (strike)، با استفاده از آمار بلندمدت دمایی موجود شیراز، سال‌های ۹۶ – ۱۳۳۰، با توجه به تاریخ‌های فوق (جدول ۴)، سطح بهینه شاخص GDD با استفاده از رابطه (۶) محاسبه شده است. نتایج مربوط به سطح توافقی شاخص GDD به تفکیک محصولات مورد بررسی در جدول ۵ نشان داده شده است. لازم به ذکر است، قرار داد اختیار معامله مربوط به هر محصول، در تاریخ شروع یک سیکل رشد، آغاز شده و تاریخ انقضای قرارداد، تاریخ شروع دوره بعدی رشد می‌باشد. لذا با توجه به اینکه هفت سیکل رشد برای دو محصول در جدول ۴، بیان شده است، تعداد دوره‌های طراحی قرارداد، شش دوره مطابق جدول ۵ می‌باشد.

چنانچه نتایج جدول ۵ نیز نشان می‌دهد، مطابق انتظار، در بیشتر

دوره‌های مور بررسی، میزان GDD محصول برنج در شیراز از میزان GDD گندم، بیشتر بوده است. میران GDD گندم طی دوره رشد، برابر با ۲۰۶۰ درجه- روز در شیراز بوده است. همچنین در مورد محصول برنج، GDD کل دوره رشد، در شیراز برابر با ۲۱۲۵ درجه- روز می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج جدول ۵، میزان GDD مورد نیاز دو محصول در مراحل مختلف رشد متفاوت بوده است که این امر اهمیت در نظر گرفتن دوره‌های مختلف رشد جهت طراحی قراردادها را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج جدول ۵، هر دو محصول در دوره پر شدن دانه- رسیدگی بیشترین نیاز گرمایی را داشته‌اند

پس از محاسبه سطوح توافقی شاخص به تفکیک مراحل رشد، میزان غرامت انتظاری و درنتیجه قیمت قراردادهای مربوطه با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو محاسبه شده است. بر این اساس فرآیندهای دمایی شیراز، شبیه‌سازی و با استفاده از روش مونت‌کارلو، ۱۰۰۰۰ شبیه‌سازی تصادفی ایجاد شده است. غرامت انتظاری قراردادها با توجه به رابطه (۷) برای هر حالتِ شبیه‌سازی شده، محاسبه و درنهایت قیمت قراردادهای اختیار معامله فروش، برابر با میانگین قیمت ۱۰۰۰۰ قرارداد شبیه‌سازی شده، با استفاده از رابطه (۱۰) به دست آمده است. جهت محاسبه قیمت قراردادها، نرخ بهره سالانه بدون ریسک، بر اساس آمار بانک مرکزی، برابر با ۱۵ درصد در نظر گرفته شده است. نتایج مربوط به غرامت انتظاری و قیمت قراردادها به تفکیک محصول در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۵- سطوح توافقی شاخص GDD به تفکیک محصول در شیراز

Table 5- Strike price of GDD put option for wheat and rice in Shiraz

| قرارداد/ محصول Contract / Crop | دوره Period | گندم Wheat | برنج Rice |
|---|---|---|---|
| قرارداد ۱ Option 1 | سبزشدن- پنجه‌زنی Emergence- Tillering | 85 | 267 |
| قرارداد ۲ Option 2 | پنجه‌زنی- ساقه‌روی Tillering- Stem elongation | 387 | 391 |
| قرارداد ۳ Option 3 | ساقه‌روی- آبستنی Stem elongation- Gravidity | 240 | 215 |
| قرارداد ۴ Option 4 | آبستنی- گلدهی Gravidity- Flowering | 189 | 286 |
| قرارداد ۵ Option 5 | گلدهی- پر شدن دانه Flowering- Milky ripe | 216 | 225 |
| قرارداد ۶ Option 6 | پر شدن دانه- رسیدن Milky ripe- Maturity | 943 | 741 |

مأخذ: یافته‌های تحقیق Source: Research findings

بر اساس نتایج به دست آمده (جدول ۶)، بیشترین غرامت گندم در شیراز، مربوط به قرارداد دوم و از اول آذر ماه تا ۱۵ اسفند ماه بوده است. لذا استفاده از اختیار معامله دمایی در این دوره، کاهش عملکرد کشاورزان را جبران می‌سازد. در مورد محصول برنج نیز، بیشترین غرامت در شیراز در قرارداد ششم (۲۷ مرداد تا ۱۵ مهرماه) اتفاق افتاده است. به این معنی که در این بازه‌های زمانی، مجموع دمای دوره رشد مورد نیاز گندم و برنج تأمین نشده است. تذکر این نکته ضروری است که قراردادهای اختیار معامله دمایی، طراحی شده تنها جامعه کشاورزان گندم‌کار و برنج‌کار را در بر نمی‌گیرد، بلکه تمام گروه‌های فعالیتی که تغییرات دما، تولید و درآمد آنها را تحت تاثیر قرار می‌دهد، همچون عرضه‌کنندگان انرژی، فعالان گردشگری و ...، خریداران بالقوه این قراردادها محسوب می‌شوند. انتخاب قرارداد و درنتیجه غرامت انتظاری و قیمت‌ها، بر اساس انتظارات افراد متفاوت خواهد بود. به عنوان مثال چنانچه فردی انتظار مواجه شدن با خرداد ماه گرمی را داشته باشد، بر اساس قراردادهای طراحی شده در این پژوهش، دو انتخاب پیش روی خویش دارد. ۱- خرید قرارداد اختیار معامله در بازه ۱۵ اردیبهشت تا ۳۰ خرداد با سطح توافقی شاخص GDD، ۹۴۳ درجه- روز و ۲- خرید قرارداد اختیار در بازه ۱۵ خرداد تا ۳۰ خردادماه با سطح توافقی GDD، ۲۶۷ درجه- روز. در صورت انتخاب هر یک از قراردادهای فوق، چنانچه میزان شاخص تحقق یافته طی دوره ذکر شده در قرارداد، از سطح توافقی مشخص شده (strike)، کمتر باشد، پرداخت غرامت صورت می‌گیرد. مشخصات کلی قراردادهای طراحی شده در جدول ۷، بیان شده است.

لازم به ذکر است، مقادیر محاسبه شده به عنوان مشخصات قراردادهای اختیار معامله دمایی در این مطالعه، مقادیری اولیه جهت راه‌اندازی بازار بورس آب و هوا در ایران می‌باشند. بنابراین، لازم است پس از راه‌اندازی این بورس، مقادیر و مشخصات تعیین شده اولیه، با انجام مطالعات مختلفی در زمینه آثار تغییر این مشخصات بر

کشاورزان و سایر فعالان در بورس آب و هوا، مورد تغییر و تجدید نظر قرارگیرند. همچنین می‌توان پس از راه‌اندازی بورس آب و هوا، بر اساس نیاز فعالان و میزان استقبال آنان، قراردادهایی در بازه‌های زمانی مختلف و با سطوح مختلف شاخص توافقی و قیمت، طراحی و عرضه نمود.

**جدول ٦- غرامت انتظاری و قیمت قراردادهای اختیار معامله دمایی شهر شیراز (ریال)**

**Table 6- Expected payoff and price of temperature based weather derivatives of Shiraz (Rials)**

| قرارداد/ محصول Option / Crop | گندم Wheat | | | برنج Rice | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | مدت قرارداد Contract in days | غرامت Payoff | قیمت Price | مدت قرارداد Contract in days | غرامت Payoff | قیمت Price |
| option 1 قرارداد ۱ | 12 | 0.89 | 0.54 | 16 | 1.35 | 0.70 |
| option 2 قرارداد ۲ | 103 | 5.32 | 0.08 | 21 | 1.64 | 0.69 |
| option 3 قرارداد ۳ | 29 | 0.24 | 0.07 | 11 | 0.99 | 0.63 |
| option 4 قرارداد ۴ | 16 | 1.54 | 0.80 | 15 | 1.17 | 0.63 |
| option 5 قرارداد ۵ | 16 | 0.39 | 0.20 | 12 | 1.54 | 0.94 |
| option 6 قرارداد ۶ | 46 | 2.58 | 0.39 | 50 | 3.11 | 0.40 |

Source: Research findings مأخذ: یافته‌های تحقیق

**جدول ۷- مشخصات قراردادهای اختیار معامله دمایی شهر شیراز**

**Table 7- Parameter of temperature based weather derivatives of Shiraz**

| مشخصات /قرارداد option / Parameter | ایستگاه Weather station | شاخص Index | نوع Type | Period دوره زمانی | سطح توافقی Strike | قیمت Price |
|---|---|---|---|---|---|---|
| قرارداد ۱ Option 1 | شیراز Shiraz | GDD | Put | ۲۰- ۳۰ آبان Nov-11- 21 | 85 | 0.54 |
| قرارداد ۲ Option 2 | شیراز Shiraz | GDD | Put | ۱ آذر- ۱۵ اسفند Nov. 22- March 6 | 387 | 0.08 |
| قرارداد ۳ Option 3 | شیراز Shiraz | GDD | Put | ۱۶ اسفند- ۱۵ فروردین March7- Apr. 4 | 240 | 0.07 |
| قرارداد ۴ Option 4 | شیراز Shiraz | GDD | Put | ۱۶- ۳۰ فروردین Apr.5-. 19 | 189 | 0.80 |
| قرارداد ۵ Option 5 | شیراز Shiraz | GDD | Put | ۳۱ فروردین- ۱۵ اردیبهشت Apr. 20- May. 5 | 216 | 0.20 |
| قرارداد ۶ Option 6 | شیراز Shiraz | GDD | Put | ۱۶ اردیبهشت- ۳۰ خرداد May. 6-Jun. 20 | 943 | 0.39 |
| قرارداد ۷ Option 7 | شیراز Shiraz | GDD | Put | ۱۵- ۳۰ خرداد June 6- 20 | 267 | 0.70 |
| قرارداد ۸ Option 8 | شیراز Shiraz | GDD | Put | ۳۱ خرداد- ۲۰ تیر June 21-july 11 | 391 | 0.69 |
| قرارداد ۹ Option 9 | شیراز Shiraz | GDD | Put | ۲۱- ۳۰ تیر July 12-21 | 215 | 0.63 |
| قرارداد ۱۰ Option 10 | شیراز Shiraz | GDD | Put | ۳۱ تیر- ۱۵ مرداد July 22-aug 6 | 286 | 0.63 |
| قرارداد ۱۱ Option 11 | شیراز Shiraz | GDD | Put | ۱۶- ۲۷ مرداد Aug. 7-18 | 225 | 0.94 |
| قرارداد ۱۲ Option 12 | شیراز Shiraz | GDD | Put | ۲۸ مرداد- ۱۵ مهر Aug. 19- oct7 | 741 | 0.40 |

Source: Oesearch findings مأخذ: یافته‌های تحقیق

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بخش کشاورزی همواره در معرض ریسک‌های مختلف قرار داشته است. در این بین، ریسک ناشی از تغییرات آب و هوا، از جمله مواردی است که عملکرد و فعالیت در این بخش را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، کشاورزان یا مدیران واحدهای کشاورزی، از گزینه‌های حمایتی چندانی جهت مواجهه با این ریسک برخوردار نمی‌باشند. قراردادهای مبتنی بر شاخص‌های هواشناسی و قابل مبادله در بورس، از جمله ابزارهای نوینی به‌شمار می‌روند که از سال ۱۹۹۷، در بازارهای بورس مطرح دنیا معرفی شده‌اند و به سرعت مورد توجه محققان قرار گرفته و حجم زیادی از پژوهش‌های حوزه مدیریت ریسک را به خود اختصاص داده‌اند. با این حال در داخل کشور تاکنون بحث بورس آب و هوا و طراحی و قیمت‌گذاری قراردادهای مبتنی بر شاخص‌های هواشناسی، مطرح نشده است. لذا، در این پژوهش، ضمن معرفی ساز و کار بورس آب و هوا و قراردادهای اختیار معامله مبتنی بر شاخص های هواشناسی، به طراحی و قیمت گذاری قراردادهای اختیار خرید بر پایه دما در شیراز پرداخته شده است. بدین منظور شاخص GDD به عنوان یکی از شاخص‌های دمایی پرکاربرد در بخش کشاورزی، انتخاب شده است. شاخص GDD بر اساس داده‌های دمایی و طول دوره رشد محصولات گندم و برنج در شیراز، محاسبه و میزان این شاخص در بلند مدت به عنوان سطح توافقی شاخص (Strike)، منظور شده است. جهت قیمت‌گذاری قراردادهای مورد نظر نیز از روش شبیه‌سازی مبتنی بر داده‌های روزانه دمایی استفاده شده است. درنهایت، غرامت انتظاری و قیمت قراردادهای اختیار معامله طراحی شده، با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو، تعیین شده است. قراردادهای اختیار دمایی برای هر محصول بر اساس دوره‌های مختلف رشد محصولات، طراحی شده‌اند و از این رو دوازده بازه زمانی و درنتیجه دوازده قرارداد مختلف را شامل می‌شوند. بر اساس نتایج به دست آمده، ارتباط مثبت و معناداری بین میزان درجه حرارت دوره رشد و عملکرد هر دو محصول گندم و برنج در شیراز وجود دارد که این امر نشان از لزوم استفاده از قراردادهای مبتنی بر دما در این بخش می‌باشد. همچنین بر مبنای غرامت‌های انتظاری محاسبه شده، بیشترین غرامت گندم در شیراز، مربوط به قرارداد دوم و در بازه زمانی اول آذر ماه تا ۱۵ اسفند ماه بوده است. لذا استفاده از اختیار معامله دمایی در این دوره، کاهش عملکرد کشاورزان را جبران می‌سازد. در مورد محصول برنج نیز، بیشترین غرامت در شیراز در قرارداد ششم (۲۷ مرداد تا ۱۵ مهرماه) اتفاق افتاده است. نتایج مربوط به غرامت های انتظاری، لزوم ایجاد و راه‌اندازی بورس آب و هوا، جهت مبادله قراردادهای شاخص‌های هواشناسی و پوشش ریسک فعالان بخش کشاورزی بخصوص در شیراز را آشکار می‌سازد. لذا پیشنهاد می‌شود، از نتایج پژوهش پیش‌رو جهت راه‌اندازی بورس آب و هوا استفاده شود. ضمن اینکه لازم است پس از راه‌اندازی این بورس، مقادیر و مشخصات تعیین شده اولیه، با انجام مطالعات مختلفی در زمینه آثار تغییر این مشخصات بر کشاورزان و سایر فعالان در بورس آب و هوا، مورد تغییر و تجدید نظر قرارگیرند. همچنین، با توجه به اینکه جهت طراحی قراردادهای اختیار معامله دمایی در این پژوهش، از اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شیراز استفاده شده است و مبنای محاسبه قراردادها، شبیه‌سازی دمای این شهر بوده است، پیشنهاد می‌شود، مشخصات این قراردادها به تفکیک شهرهای مختلف محاسبه شود تا متقاضیان قراردادها در شهرهای مختلف، جهت حداقل‌سازی ریسک جغرافیایی[1]، قراردادهای اختیار معامله نزدیک-ترین ایستگاه سینوپتیک موجود را تهیه نمایند. همچنین در این پژوهش جهت طراحی قراردادهای اختیار معامله شاخص‌های هواشناسی، به طراحی و قیمت‌گذاری قراردادهای مبتنی بر دما پرداخته شده است، با توجه به اینکه این قراردادها را می‌توان برای سایر متغیرهای اقلیمی مهم و اثرگذار بر عملکرد نیز تعریف نمود، پیشنهاد می‌شود، در پژوهش‌های آتی، طراحی قراردادهای مبتنی بر سایر متغیرهای اقلیمی نیز مورد توجه قرار گیرد.

## منابع


1- Agricaltural institution. 2015.
2- Alaton P., Djehiche B., and Stillberger D. 2002. On Modelling and pricing weather derivatives, Applied Mathematical Finance, 9(1): 1-20.
3- Alikhani F., Karbasi A., and Mozafari Mosen M. 2011. Effect of temperature and rainfall on wheat yield of Iran, Agricultural Economics and Development, 19(76): 143-166. (In Persian)
4- Antonis K., Alexandridis A., and Kampouridis M. 2013, A. Temperature forecasting in the concept of weather derivatives: a comparison between wavelet networks and genetic programming, Communications in Computer and Information Science, 383: 12-21.
5- Ashktorab N., Layani Gh., and Soltani Gh.R. 2015. Evaluation of the effects of climate change and government


۱- ین ریسک ناشی از فاصله جغرافیایی ایستگاه هواشناسی ذکر شده در قرارداد و زمین‌های کشاورزی است.

policies on yield and crop area of corn in Iran: Panel data approach, Journal of Agricultural Economics and Development, 29(1): 31-42. (In Persian)
6- Bae K.I., and Choung J.H. 2009. A study on the market price of weather risk inpricing weather derivatives. Journal of Derivatives Korea, 27(2): 49–66.
7- Baojing S., and van Kooten G.C. 2012. Climate impacts on Chinese corn yields: a fractional polynomial regression model, working paper, Department of Economics, University of Victoria, Victoria.
8- Baojing S., Guo C., and van Kooten G.C. 2013. Weather derivatives and crop insurance in China, working paper, Department of Economics, University of Victoria, Victoria.
9- Chen J.H., Yang L.R., Suc, M.C., and Lina J.Z. 2010. A rule extraction based approach in predicting derivative use for financial risk hedging by construction companies, Expert Systems with Applications, 37(9): 6510–6514.
10- Cheng H.T., and Capps O.J. 1988. Demand analysis of fresh and frozen finfish and shellfish in the United States, American Journal of Agricultural Economics, 70: 533-42.
11- Chow G.C. 1960. Tests of equality between sets of coefficients in two linear regressions, Econometrica, 28: 591-605.
12- Eini Nargese H., Deihimfard R., Soufizadeh S., Haghighat M., and Nouri A. 2015. Prediction of climate change effects on wheat yield of Fars province using APSIM model. Crop production publication, 8(4): 203-224. (In Persian)
13- Ender M., and Zhang R. 2015. Efficiency of weather derivatives for Chinese agriculture industry, China Agricultural Economic Review, 7(1): 102–121.
14- Kapphan I. 2012. Weather risk management in light of climate change using financial derivatives, Ph.D dissertation of ETH Zurich.
15- Lazo J.K., Lawson M., Larsen P.H., and Waldman D.M. 2011. US economic sensitivity to weather variability. Bulletin of the American Meteorological Society, 92: 709-720.
16- Lee C.S., Jin Z.Z., and Song C.G. 2011. A study on pricing and risk evaluation of weather insurance based on multivariate temperature model. Actuarial Studies, 3(1): 83–106.
17- Li L., and Zhang Y. 2012. The financial management of natural risks in agriculture, Dongbei University of Finance, Dongbei.
18- Mahmoodi A., and Parhizkari A. 2016. Economic analysis of the climate change impact on production yield, cropping pattern and farmers gross margin (case study: Qazvin plain), Growth and Development of Rural & Agricultural Economics, Special Issue of Quarterly Journal of Economic Growth and Development Research, 1(2): 25-40. (In Persian)
19- Manfredo M.R., and Richards T.J. 2009. Hedging with weather derivatives: a role for options in reducing basis risk, Applied Financial Economics: 19:87–97.
20- Momeni S., and Zibaei M. 2013. Potential effects of climate change on agriculture in Fars province. Journal of Economic and Agricultural Development, 3: 169- 179. (In Persian)
21- Mushoff O., Odening M., and Xu W. 2011. Management of climate risks in agriculture – will weather derivatives permeate?, Applied Economics, 43: 1067–1077.
22- Nadolnyak D., and Hartarska V. 2012. Agricultural disaster payments in the southeastern US: do weather and climate variability matter?, Applied Economics, 44: 4331 -4342.
23- Norouzian M., Sabouhi M., and Parhizkari A. 2013. Economic analysis of climate change on cotton yield in selected provinces, Agricultural Meteorology Journal, 2(1): 93-99. (In Persian)
24- Odening M., Mushoff O., and Xu W. 2007. Analysis of rainfall derivatives using daily precipitation models: opportunities and pitfalls, Agricultural Finance Review, 67(1): 135-156.
25- Parhizkari A., Mozaffari M.M., and Hoseini Khodadadi. 2015. Economic analysis of climate change on yield of irrigated wheat in Shahrood watershed, 18: 88- 100. (In Persian)
26- Pedroni P.L. 2004. Panel cointegration: asymptotic and finite sample properties of pooled time series tests with an application to the ppp hypothesis, Econometric Theory, 20(3): 597- 625.
27- Schlenker W., and Roberts M. 2009. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change, Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(37): 15594-15598.
28- Spicka J., and Hnilica J. 2013. A methodical approach to design and valuation of weather derivatives in agriculture, Hindawi Publishing Corporation Advances in Meteorology, 2: 1- 8.
29- Spicka J. 2011. Weather derivative design in agriculture – a case study of barley in the Southern Moravia Region, Agris on-line Papers in Economics and Informatics, 3: 53- 59.
30- Xu W., Odening M., and Mußhoff O. 2008. Indifference pricing of weather derivatives. American Journal of Agricultural Economics, 90(4): 979-993.
31- Zarkani F., Kamali Gh.A., and Chizari A.H. 2014. The effects of climate change on rain-fed wheat (case study: north Khorasan), Journal of Agroecology, 6(2): 301-310. (In Persian)